



Multikriterieværktøj til sammenligning af bæredygtigheden af afværgeteknikker for en forurennet grund

Notat 2

Søndergaard, Gitte Lemming; Binning, Philip John; Bjerg, Poul Løgstrup

Publication date:
2014

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Søndergaard, G. L., Binning, P. J., & Bjerg, P. L. (2014). *Multikriterieværktøj til sammenligning af bæredygtigheden af afværgeteknikker for en forurennet grund: Notat 2*. DTU Miljø.

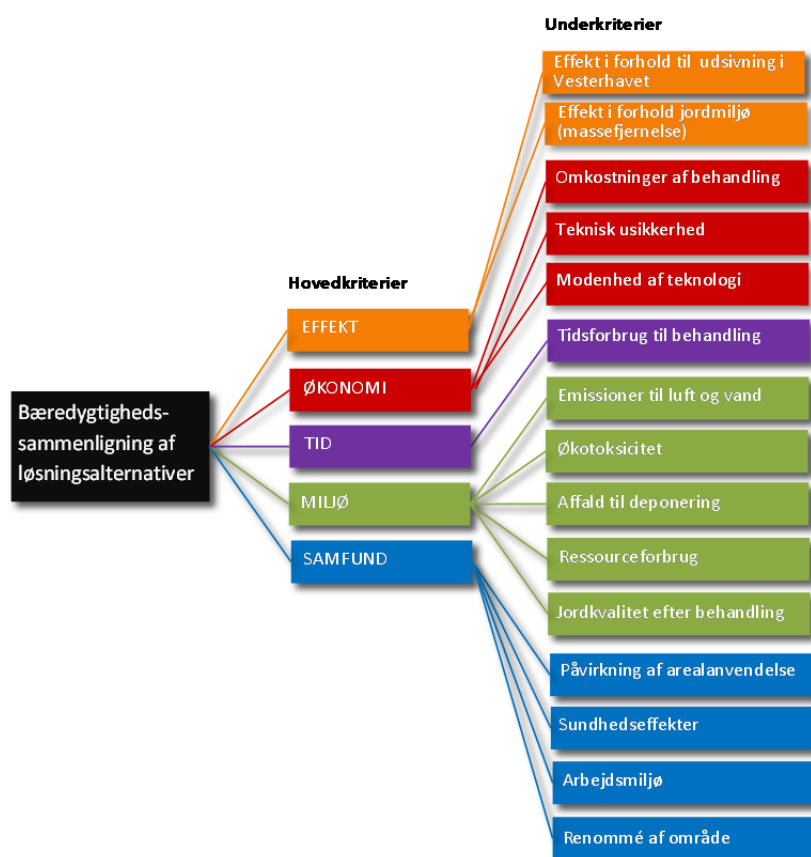
General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Multikriterieværktøj til sammenligning af bæredygtigheden af afværgeteknikker for en forurennet grund



Notat 2

Gitte L. Søndergaard, Philip J. Binning og Poul L. Bjerg

DTU Miljø

November 2014

Forord

Dette notat er udarbejdet i fase 2 af projektet *Bæredygtighed af afværgeteknologier*, som er et samarbejdsprojekt mellem Region Midtjylland og DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet. Projektet er knyttet sammen med projektet *NorthPestClean*, som omhandler fastsættelse af oprensningskriterier for pesticidforureningen ved Høfde 42 samt pilotskalatests af oprensning med *in situ* basisk hydrolyse ved Høfde 42.

I projektets første fase er der foretaget et litteraturstudium, der har til formål at kortlægge de eksisterende erfaringer med brug af multikriteriemetoder til beslutningsstøtte for bæredygtig afværge samt udvalgte værktøjer for relaterede områder såsom vandforsyning. Dette litteraturstudium er afrapporteret i Notat 1 (Lemming et al., 2011).

I denne fase (fase 2) er der udviklet et multikriterieværktøj, som har til formål at foretage en sammenlignende bæredygtighedsvurdering for afværgealternativer for en forurennet lokalitet. Værktøjet inddrager fem hovedkriterier i denne vurdering samt en række underkriterier. Alternativernes præstationer på de enkelte kriterier omregnes til en score fra 0 til 1. Denne score vægtes i forhold til et sæt af kriterievægte, som kan fastsættes ved hjælp af et interessentpanel. Dette notat beskriver den udviklede multikriteriemetode, de inkluderede kriterier, samt hvorledes disse opgøres og vægtes. Herunder uddybes, hvad der menes med interessenter og hvorledes et interessentpanel sammensættes.

Det udviklede multikriterieværktøj er i projektets fase 3 anvendt til at sammenligne bæredygtigheden af 4 forskellige strategier for håndteringen af kemikaliedepotet ved Høfde 42. Resultaterne fra bæredygtighedsvurderingen er afrapporteret i Notat 3 (Lemming et al., 2014). I forbindelse med anvendelse af værktøjet for Høfde 42, blev der afholdt en interessentworkshop i november 2013 med deltagelse af en række lokale og regionale interessenter. Resultaterne fra interessentworkshoppen er afrapporteret i notatet "Interessentworkshop om Høfde 42 afholdt 14. november 2013" (Lemming & Bjerg, 2013).

Udover DTU Miljø, har projektet haft deltagelse af en arbejdsgruppe fra Region Midtjylland bestående af Morten Bondgaard (projektleder), Anja Melvej, Børge Hvidberg, Kaspar Rüegg og Lars Ernst, der har bidraget i tilblivelsen af værktøjet gennem en række møder og workshops, hvor værktøjets opbygning og kriteriestruktur er blevet diskuteret.

Herudover har der været udsendt et spørgeskema til en gruppe af eksperter indenfor jordforureningsområdet, der skulle give nogle generelle vurderinger af en række afværgeteknikkers præstation på udvalgte kriterier. Disse vurderinger kan anvendes som udgangspunkt ved fremtidige anvendelser af værktøjet og ses i Appendiks A.

En oversigt over projektets tre faser og de tilhørende workshops og udarbejdede notater ses herunder.

Projektfaser

- Fase 1** Litteraturfase og intro-workshop med Region Midtjylland. **Notat 1:** *Bæredygtighed af afværgeteknologier. Litteraturstudium (Lemming et al., 2011.).*
- Fase 2** Metodeudviklingsfase og interessentworkshop. **Notat 2:** *Multikriterieværktøj til sammenligning af bæredygtigheden af afværgeteknikker for en forurennet grund (Lemming et al., 2014).* **Notat om interessentworkshop:** *Interessentworkshop om Høfde 42 afholdt 14. november 2013 (Lemming & Bjerg, 2013).*
- Fase 3** Case-afprøvning (Høfde 42) og afsluttende workshop. **Notat 3:** *Bæredygtighedsvurdering af løsningsalternativer for kemikaliedepotet ved Høfde 42 (Søndergaard et al., 2014).*

Resumé

Der er udviklet en metode til bæredygtighedsvurdering af afværgealternativer for en forurennet lokalitet. Metoden har til formål at støtte beslutningsprocessen omkring valg af afværgemetoder og er opbygget som en multikriterievurderingsmetode, der inddrager følgende hovedkriterier: effekt af afværge (Effekt), omkostninger af afværge (Økonomi), tidshorisont for implementering af afværgeløsningen (Tid) samt afværgemetodens afledte effekter på miljø (Miljø) og samfund (Samfund). Alle hovedkriterier, undtagen Tid, er inddelt i en række underkriterier.

Løsningsalternativernes præstation på de forskellige underkriterier er opgjort dels ved kvantitative vurderinger, eksempelvis er miljøeffekterne i høj grad baseret på en livscyklusvurdering (LCA) af afværgealternativerne, eller ved kvalitative vurderinger af påvirkningen på en skala fra 1-5. Et ekspertpanel har bidraget med kvalitative vurderinger af udvalgte kriterier for en række almindelige afværgemetoder. Disse kan anvendes som udgangspunkt i vurderingen af disse kriterier. For hvert hovedkriterium beregner metoden en normaliseret score mellem 0 og 1, hvor 0 betegner den bedst mulige score og 1 typisk gives til det alternativ, der klarer sig dårligst for det pågældende kriterium. Den samlede score i bæredygtighedsvurderingen beregnes som en vægtet sum af de normaliserede scorer for de 5 hovedkriterier, hvor vægtene af de enkelte kriterier kan bestemmes et interessentpanel. Notatet gennemgår selve metoden, herunder de inkluderede kriterier, metoder til at fastsætte kriterievægte og sammensætningen af et interessentpanel.

Indholdsfortegnelse

Forord.....	3
Resumé.....	5
1 Introduktion	7
2 Bæredygtighedsværktøjets opbygning	8
2.1 Kriteriestruktur.....	8
2.2 Lineær additiv model	8
3 Hoved- og underkriterier	10
3.1 Effekt	10
3.2 Økonomi.....	10
3.3 Tid.....	12
3.4 Miljø	12
3.5 Samfund	14
3.6 Ekspertpanel til vurdering af kvalitative scorer.....	15
4 Normalisering, vægtning og beregning af samlet bæredygtighedsscore.....	15
4.1 Normalisering af scorer	15
4.2 Vægtning af scorer	16
4.3 Simple vægtning.....	17
4.4 Detaljeret vægtning	17
4.5 Samlet bæredygtighedsscore.....	18
5 Konklusion.....	19
5 Referencer.....	20
APPENDIKSER	21
Appendiks A – Ekspertpanelets vurderinger	22

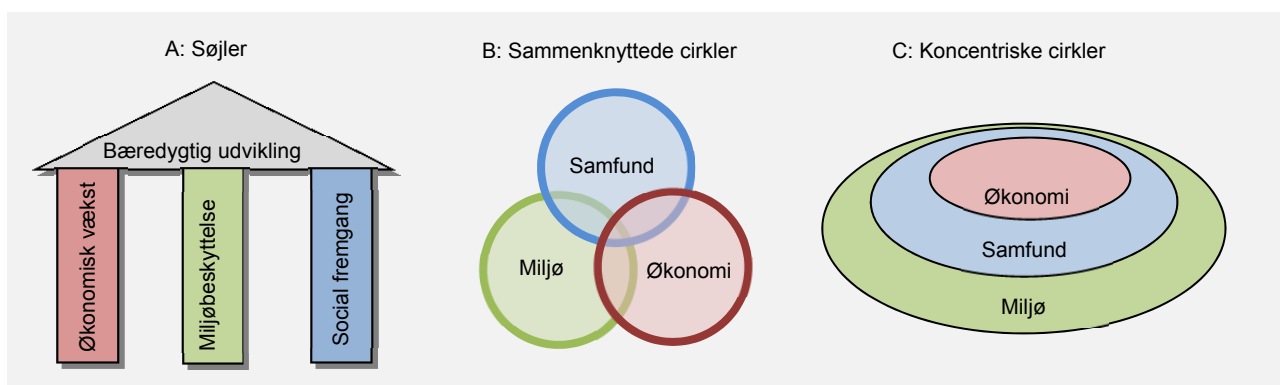
1 Introduktion

DTU har i samarbejde med Region Midtjylland udviklet en bæredygtighedsvurderingsmetode, der har til formål at sammenligne bæredygtigheden for forskellige afværgeløsninger for en forurennet grund.

Som beskrevet i litteraturstudiet (Lemming et al., 2011) er der taget udgangspunkt i brundlandrapporten (UN, 1987) og den efterfølgende Johannesburgdeklaration (UN, 2002) i definitionen af bæredygtighed, og metoden inddrager både miljømæssige, sociale og økonomiske indikatorer i sin vurdering af bæredygtighed, som illustreret på Figur 1. Dette tilsvarende også de definitioner af bæredygtighed som er lanceret indenfor afværgeområdet af eksempelvis Sustainable Remediation Forum (SURF, 2009) og Sustainable Remediation Forum UK (SuRF UK, 2010).

Metoden har til formål at støtte beslutningsprocessen omkring valg af afværgeløsning og er opbygget som en multikriterievurderingsmetode, der inddrager følgende hovedkriterier: effekt af afværge (Effekt), omkostninger af afværge (Økonomi), tidshorisont for afværge (Tid) samt afværgemetodens sekundære påvirkninger på miljø (Miljø) og samfund (Samfund). Alle hovedkriterier, undtagen Tid, er inddelt i en række underkriterier. Værktøjet er sat op i et excelregneark, som kan tilpasses den lokalitet og de scenarier, der regnes på.

Den udviklede bæredygtighedsvurderingsmetode er en generel metode, der kan anvendes til vurderinger af afværgealternativer for forskellige typer af forurenede grunde, dels forureninger der truer overfladevand og rekreative områder, såsom Høfde 42, og dels mindre forureninger, der truer arealanvendelse eller grundvandsindvinding. Det skal bemærkes, at værktøjet sammenligner den relative bæredygtighed af de afværgealternativer, der sammenlignes. Resultaterne kan altså benyttes til at sige, om et alternativ er mere bæredygtigt end et andet, men kan ikke bruges til at vurdere om et afværgealternativ er bæredygtigt i absolut forstand.



Figur 1. Tre forskellige repræsentationer af bæredygtig udvikling. Modificeret efter IUCN (2006)

2 Bæredygtighedsværktøjets opbygning

Bæredygtighedsværktøjet er opbygget som et multikriterieværktøj, der inkluderer en række kriterier af betydning for afværgemetodens bæredygtighed. Som nævnt i introduktionen, er der, forud for udviklingen af værktøjet, foretaget et litteraturstudium (Lemming et al. 2011), som danner baggrund for arbejdet og den valgte kriteriestruktur.

Fastsættelsen af de miljømæssige, sociale og økonomiske indikatorer, som indgår i det endelige værktøj, er sket med baggrund i litteraturstudiet (Lemming et al., 2011), samt gennem dialog med en arbejdsgruppe fra Region Midtjylland, som har været tilknyttet projektet og bidraget aktivt med input til værktøjets tilblivelse.

2.1 Kriteriestruktur

Bæredygtigheden af et afværgetiltag vurderes ud fra 5 overordnede kriterier (hovedkriterier) samt et antal underkriterier (illustreret på Figur 2). De 5 hovedkriterier i vurderingen er:

- **Effekt:** Hvor god er metoden til at opfylde formålet med oprensningen, dvs. til at fjerne forureningen og sikre, at der ikke er en uacceptabel påvirkning af miljø og mennesker
- **Økonomi:** Hvad koster det at rense op? Hvor stor er usikkerheden på omkostningsestimatet? Er der ekstra omkostninger før teknikken er klar til implementering på den pågældende lokalitet?
- **Tid:** Hvor lang tid går der før løsningen er implementeret og effekten er opnået?
- **Miljø:** Hvor stor grad af afledte miljøeffekter er der forbundet med at rense op? (Herunder emissioner til luft og vand, udledning af økotoksiske stoffer, affaldsproduktion, ressourceforbrug og påvirkning af det lokale jordmiljø)
- **Samfund:** Hvor stor grad af samfundspåvirkninger er der forbundet med løsningsmetoden? (Herunder restriktioner på arealanvendelse under og efter oprensning, arbejdsmiljørisici, afledte sundhedseffekter og påvirkning af områdets renommé)

En uddybende beskrivelse af hovedkriterier og underkriterier findes i kapitel 3.

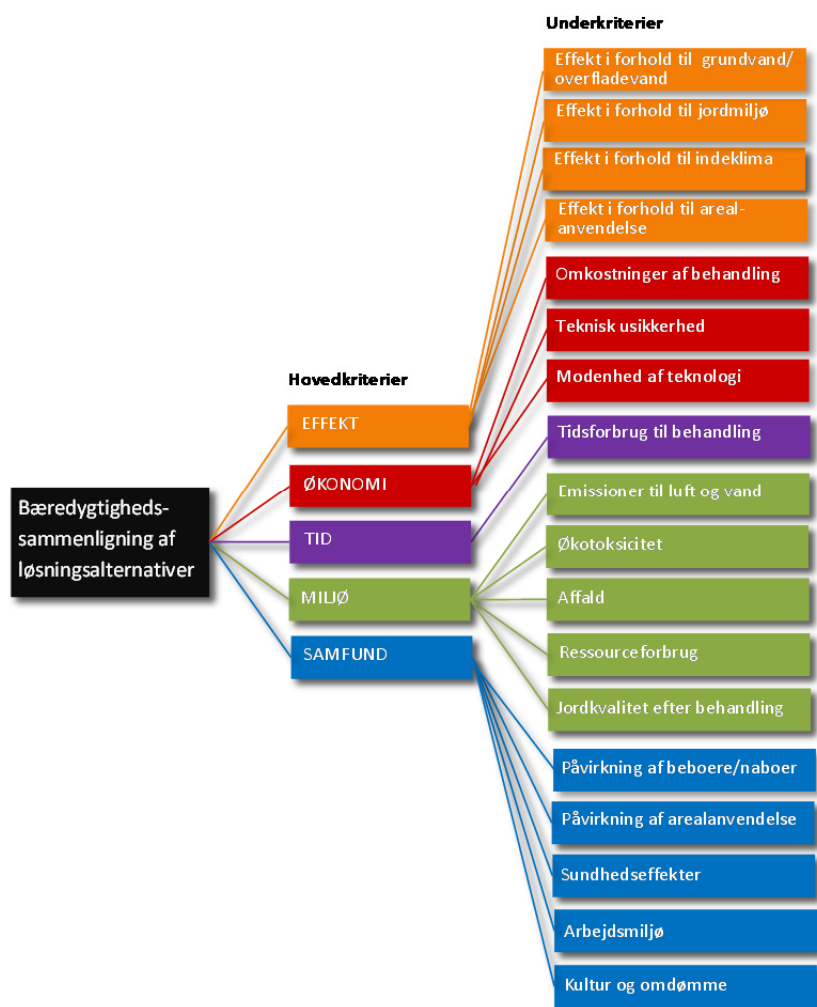
2.2 Lineær additiv model

Den udviklede multikriteriemetode er en såkaldt lineær additiv model, hvor den samlede bæredygtighedsscore beregnes som en vægtet sum af scorerne opnået for de enkelte kriterier. Dette fremgår af Ligning 1, der udtrykker beregningen af den samlede bæredygtighedsscore $v(x)$ for alternativ x som summen af de enkelte kriteriers scorer v_i ganget med deres vægte w_i :

Ligning 1:

$$v(x) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(x_i)$$

n er antallet af kriterier. Vægtene afspejler den relative vigtighed af kriterierne og summerer til 1.



Figur 2. Multikriteriestruktur for bæredygtighedsvurderingen

3 Hoved- og underkriterier

I dette kapitel beskrives alle hoved- og underkriterier som indgår i bæredygtighedsværktøjet, jf. Figur 2, samt hvorledes de opgøres.

3.1 Effekt

Hovedkriteriet "Effekt" beskriver oprensningseffekten af det enkelte løsningsalternativ. Antallet af underkriterier afhænger af den faktiske forureningssituation og det formål, der er fremsat for afværgetiltaget. Værktøjet indeholder således 4 underkriterier, nemlig effekt i forhold til grundvand (alternativt overfladevand), effekt i forhold til jordmiljø, effekt i forhold til indeklimate samt effekt i forhold til arealanvendelse (kontakt med jord og øvrige eksponeringsveje).

I bæredygtighedsvurderingen medtages kun de underkriterier, som vurderes at være relevante for den pågældende lokalitet. Oprensningseffekterne opgøres som en procentvis forventet reduktion i enten masseflux, forureningsmasse eller koncentration (se Tabel 1). Såfremt oprensningseffekten overfor forskellige forureningskomponenter varierer for de vurderede løsningsalternativer, kan der endvidere laves en underinddeling for de forskellige stoffer. Dette blev eksempelvis gjort for Høfde 42, hvor effekten overfor dels overfladevand og dels jordmiljø blev vurderet separat for henholdsvis pesticidprodukter og kviksvov (Lemming et al., 2014).

Tabel 1. Underkriterier for hovedkriteriet Effekt

HOVEDKRITERIUM EFFEKT		
Underkriterier	Opgørelsesmetode	Enhed
Oprensningseffekt for grundvand/overfladevand	Reduktion i masseflux til grundvand/overfladevand	(%)
Oprensningseffekt for jordmiljø	Reduktion i masse/koncentration	(%)
Oprensningseffekt i.f.t. indeklimate	Reduktion i masseflux/koncentration	(%)
Oprensningseffekt i.f.t. arealanvendelse (øvrige eksponeringsveje)	Reduktion i masse/koncentration	(%)

3.2 Økonomi

Hovedkriteriet "Økonomi" indeholder en opgørelse af omkostningerne til løsningsalternativet (i Kr). Derudover indgår underkriterierne "Teknisk usikkerhed" og "Modenhed af teknik". Den tekniske usikkerhed afspejler den forskel der er i sikkerheden på forløbet af en afværgeteknik. Visse afværgeteknikker vil være meget sværere at forudsige forløbet af end andre, fordi de eksempelvis er in situ metoder, der kræver at der opnås en god kontakt mellem forureningsstoffer og forskellige stoffer injiceret i jorden, eller de kan være styret af aktiviteten af specifikke bakterier. I sådanne tilfælde er det svært at forudsige den præcise oprensningstid. Dette forårsager en usikkerhed på tid, økonomi og miljøeffekter af metoden. I denne sammenhæng er det valgt, at den tekniske usikkerhed udelukkende giver sig udslag i en ekstra omkostning. I Boks 1 ses den foreslåede skala til vurdering af den tekniske usikkerhed samt et forslag til omregningen til en ekstra omkostning. Et dansk ekspertpanel har lavet en række generelle vurderinger af gængse afværgemetoders tekniske usikkerheder, som der kan tages udgangspunkt i. Disse ses i Appendiks A.

Underkriteriet "Modenhed af teknik" afspejler hvor klar den enkelte teknik er til implementering på den betragtede lokalitet. Boks 1 viser skalaen til vurdering af modenheden samt omregningen til en ekstra omkostning. Der er ikke lavet nogen generel vurdering heraf, da dette afhænger meget af den specifikke situation på lokaliteten, og om der allerede foreligger forundersøgelser, treatability tests mv. for nogle af den løsningsalternativer, der undersøges.

Tabel 2. Underkriterier under hovedkriteriet Økonomi samt deres opgørelsesmetode og enhed

HOVEDKRITERIUM ØKONOMI		
Underkriterier	Opgørelsesmetode	Enhed
Omkostninger	Projektspecifik opgørelse	Kr.
Teknisk usikkerhed	Vurderes på skala 1-5 og omregnes til en ekstra omkostning (se Boks 1).	Kr.
Modenhed af teknik	Vurderes på skala 1-5 og omregnes til en ekstra omkostning (se Boks 1).	Kr.

Teknisk usikkerhed: Vurdering på skala fra 1-5	Modenhed af teknik: Vurdering på skala fra 1-5
Vurdér den tekniske usikkerhed for hver af afværgeteknologierne. Med teknisk usikkerhed menes usikkerhed på afværgeteknologiens effekt og forløb.	Vurdér modenheden for hver af afværgeteknologierne. Er teknikken klar til implementering eller kræver det flere forundersøgelser såsom treatability tests og pilotforsøg?
1 - Ingen nævneværdig usikkerhed → 0-10 % ekstra omkostninger	1 - Meget stor modenhed → 0 % ekstra omkostninger
2 - Lille usikkerhed → 10-20 % ekstra omkostninger	2 - Stor modenhed → 5 % ekstra omkostninger
3 - Moderat usikkerhed → 20-30 % ekstra omkostninger	3 - Middel modenhed → 10 % ekstra omkostninger
4 - Stor usikkerhed → 30-40 % ekstra omkostninger	4 - Lav modenhed → 15 % ekstra omkostninger
5 - Meget stor usikkerhed → 40-50 % ekstra omkostninger	5 - Meget lav modenhed → 20 % ekstra omkostninger

Boks 1. Omregning fra vurdering af Teknisk usikkerhed og Modenhed af teknik til en procentvis ekstra omkostning

3.2.1 Diskontering af udgifter

For løsningsalternativer med en lang tidsramme vil udgifterne typisk fordele sig over en lang årrække. Det kunne fx være tilfældet for afskæringsløsninger som eksempelvis pump-and-treat og indspunsning. I sådanne tilfælde kan det være relevant at inkludere et følsomhedsscenario, hvor fremtidige omkostninger diskonteres til en nutidsværdi. Nutidsværdien beregnes af følgende formel, hvor r betegner diskonteringsfaktoren, n betegner projektets løbetid, t er tiden angivet i år og C_t angiver omkostningen i et givent år (Miljøministeriet, 2010):

Ligning 2:

$$NV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Den beregnede nutidsværdi udtrykker således den aktuelle værdi af fremtidige betalinger, idet der tages højde for, at såfremt der betales på et senere tidspunkt vil der være mulighed for at investere pengene med afkast, og at der desuden kan være forventninger til, at fremtidig vækst og teknologisk udvikling kan medføre, at det kan være en fordel at udskyde investeringer.

Hidtil har en diskonteringsrate på 5% været anbefalet af Finansministeriet (Finansministeriet, 2013). Denne rate er relativt høj sammenlignet med praksis i andre lande og Finansministeriet har for nylig foreslået, at der for projekter med lang løbetid anvendes en diskonteringsrate på 4% for de første 35 år, en rate på 3% de efterfølgende 35 år og en rate på 2% efter 70 år (Finansministeriet, 2013).

3.3 Tid

Hovedkriteriet "Tid" dækker udelukkende over den tid, det tager for løsningsalternativet at opnå den forventede effekt. Der er altså tale om tidsforbruget på lokaliteten indtil forureningen er afskåret eller reduceret. Er der tale om en afgravningsløsning er det således kun tidsforbruget til afgravning på lokaliteten, der indgår og ikke tidsforbrug til at behandle jorden på et off-site behandlingscenter.

Tabel 3. Underkriterier for hovedkriteriet tid

HOVEDKRITERIUM TID	
Underkriterier	Enhed
Tidsforbrug	År

3.4 Miljø

Hovedkriteriet Miljø dækker over de afledte miljøeffekter, der er ved at rense op. De afledte effekter skyldes brug af materialer, maskiner, kemikalier mv. i afværgeprojektet. For at kvantificere disse afledte effekter udføres en livscyklusvurdering (LCA). I LCA'en opgøres samtlige ressourceforbrug og emissioner foranlediget af afværgeprojektet både under selve udførelsen af afværgen, men også under produktion af materialer og kemikalier, der indgår i afværgeprojektet. Hovedkriteriet Miljø indeholder 5 underkriterier (se tabel 4), hvoraf de 3 opgøres vha. LCA (emissioner til luft og vand, økotoksicitet og ressourceforbrug). Emissioner til luft og vand er en samlebetegnelse for udledning af drivhusgasser (global opvarmning), udledning af forsurende forbindelser, udledning af næringssalte (eutrofiering) samt udledning af opløsningsmidler og uforbrændte organiske forbindelser (fotokemisk ozondannelse). Økotoksicitet omfatter udledning af en lang række stoffer, der er giftige for dyr og planter. Ressourceforbrug omfatter brugen af ikke-fornyelige eller langsomt fornyelige ressourcer, herunder metaller, energiresourcer og ren jord. Miljøeffekterne opgjort ved LCA opgøres i personækvivalenter (PE), der svarer til belastningen fra en gennemsnitsperson. Ressourceforbrug opgjort ved LCA opgøres i personreserver (PR), hvilket vil sige, at der er tale om vægtet ressourceforbrug. Ressourceforbruget er først opgjort i PE og dernæst omregnet til PR ved at gange med den reciproke forsyningshorisont for den enkelte ressource. Ressourcer med en lille forsyningshorisont vægtes således højere end ressourcer med en lang forsyningshorisont. Livscyklusvurderingen kan foretages vha. en generelt livscyklusvurderingsværktøj (fx. SimaPro udviklet af Pré Consultants eller GaBi udviklet af PE International) eller det kan foretages i mere simple værktøjer dedikeret til livscyklusvurdering af afværgeteknikker. Et eksempel på et sådan værktøj er RemS (Weber et al., 2010).

Underkriteriet Affald dækker over affald til deponering i den enkelte afværgeløsning. Denne underkategori kan enten opgøres i LCA'en eller blot medtage affald genereret direkte ved afværgeprojektet. Det er især mængden af jord til deponering, som vil give stort udslag i denne kategori, da der typisk er tale om meget store mængder jord.

Underkriteriet Jordkvalitet efter oprensning dækker dels over den biogeokemiske påvirkning af den jord, der oprenses og dels over påvirkningen af det terrestriske miljø (dyr og planter i topjod og på jordoverfladen). Disse to kriterier vurderes på en skala fra 1-5, se Boks 2.

Ekspertpanelets vurderinger af underkriteriet Jordkvalitet efter oprensning ses i Appendiks A. Disse kan anvendes som udgangspunkt i vurderingen.

Tabel 4. Underkriterier for hovedkriteriet Miljø

HOVEDKRITERIUM TID			
1. ordens underkriterier	2. ordens underkriterier	Opgørelsesmetode	Enhed
Emissioner til luft og vand	Drivhusgasudledning (PE)	Livscyklusvurdering	Personækvivalenter (PE)
	Forsuring (PE)	Livscyklusvurdering	Personækvivalenter (PE)
	Eutrofiering (PE)	Livscyklusvurdering	Personækvivalenter (PE)
	Fotokemisk ozondannelse (PE)	Livscyklusvurdering	Personækvivalenter (PE)
Økotoksicitet	Økotoksicitet (PE)	Livscyklusvurdering	Personækvivalenter (PE)
Affald	Affald til deponering (inkl. jord)	Projektspecifik opgørelse	Kg
Ressourceforbrug	Råolie (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Naturgas (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Uran (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Stenkul (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Brunkul (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Aluminium (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Jern (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Krom (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Nikkel (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Kobber (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Mangan (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Molybdæn (PR)	Livscyklusvurdering	Personreserver (PR)
	Sand og grus, kvalitet (PR)	Projektspecifik opgørelse	Personreserver (PR)
	Sand og grus, ej kvalitet (PR)	Projektspecifik opgørelse	Personreserver (PR)
Jordkvalitet efter oprensning	Biogeokemisk påvirkning af jord	Skala 1-5	-
	Påvirkning af terrestrisk miljø	Skala 1-5	-

Jordkvalitet efter oprensning: Vurdering på skala fra 1 til 5**A) Biogeokemisk påvirkning af oprenset jord/grundvand**

Påvirkningerne skyldes alene de indgreb, der følger af afværgeren. Forureningens påvirkning i sig selv skal ikke inkluderes i vurderingen. Vurdér afværgeteknologiernes biogeokemiske påvirkning (ændring af pH, redoxforhold, vandindhold, organisk indhold) af jorden/grundvandet der renses op grundet fx kemikalietilsætning og temperaturændring .

B) Påvirkning af terrestrisk miljø på oprenset lokalitet

Vurdér afværgeteknologiernes negative påvirkning af det terrestriske miljø på, og i umiddelbar nærhed af, den forurenede grund. Med det terrestriske miljø menes land- og jordlevende planter og dyr, herunder fx regnorme, mus, svampe, græs, urter, buske og træer.

Påvirkninger skyldes afledte effekter i jordmiljøet i de øverste jordlag (ca. ½ meter) som fx udtørring, kemisk påvirkning eller bortgravning af jord.

A og B vurderes på følgende skala:

- 1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning
- 2 - Lille negativ påvirkning
- 3 - Moderat negativ påvirkning
- 4 - Stor negativ påvirkning
- 5 - Meget stor negativ påvirkning

Boks 2. Skala til vurdering af jordkvalitet efter oprensning

3.5 Samfund

Hovedkriteriet "Samfund" er opdelt i fem underkriterier, henholdsvis "Påvirkning af beboere/naboer", "Påvirkning af arealanvendelse", "Sundhedseffekter grundet afværge", "Arbejds miljø for afværgeaktiviteter" og "Kultur og omdømme". Kriteriet "Påvirkning af beboere/naboer" inkluderer gener oplevet af beboere og naboer til grunden der oprenses, og omfatter støj, støv, vibrationer mv. Kriteriet har to underkriterier, dels tidsrammen for afværge og dels omfanget/graden af påvirkningen. Såfremt der ikke findes beboere eller naboer til den oprensede grund kan kriteriet "Påvirkning af arealanvendelse" i stedet anvendes. Dette kan være relevant for rekreative områder som eksempelvis Højde 42, hvor der kan være restriktioner på færdsel, badning, fiskning mv. Kriteriet "Sundhedseffekter grundet afværge" dækker over de sundhedsmæssige påvirkninger, der genereres på grund af toksiske emissioner relateret til afværgeaktiviteternes livscyklus, og opgøres ved livscyklusvurderingen, som også bidrager med input til opgørelsen af miljøeffekter. "Arbejds miljø for afværgeaktiviteter" indeholder en vurdering af de risici, der er forbundet med afværgeteknikken, både på lokaliteten, under transport og ved off-site aktiviteter. Det sidste underkriterium "kultur og omdømme" omhandler dels en vurdering af afværgeløsningens positive indvirkning på lokalområdets renommé, og dels afværgeprojektets negative påvirkning af bygninger/områder af historisk eller kulturel værdi. Såfremt der ikke er nogle relevante kulturminde i området, udgår denne del af kriteriet.

For tre af underkriterierne (påvirkning af arealanvendelse, arbejds miljø og kultur og omdømme), er der tale om vurderinger af påvirkningernes omfang på en skala fra 1-5. Skalaerne til disse vurderinger er beskrevet i Boks 3 og Boks 4. Ekspertpanelets vurderinger af underkriterierne påvirkning af arealanvendelse, påvirkning af beboere/naboer og arbejds miljø ses i Appendiks A. Disse kan anvendes som udgangspunkt i vurderingen.

Tabel 5. Underkriterier for hovedkriteriet Samfund

HOVEDKRITERIUM: SAMFUND			
1. ORDENS UNDERKRITERIUM	2. ORDENS UNDERKRITERIUM	Opgørelsesmetode	Enhed
Påvirkning af arealanvendelse	Under afværge	Skala 1-5	
	Efter afværge	Skala 1-5	
Sundhedseffekter	Humantoksicitet (cancer)	Livscyklusvurdering	PE
	Humantoksicitet (non cancer)	Livscyklusvurdering	PE
Arbejds miljø	Arbejds miljø	Skala 1-5	
Kultur og omdømme	Påvirkning af renommé af område	Skala 1-5	
	Påvirkning af kultur miljø	Skala 1-5	

Påvirkning af arealanvendelse: Vurdering på skala fra 1-5	Arbejds miljø: Vurdering på skala fra 1-5
A) Under afværge Vurdér afværgeteknologiernes påvirkning af arealanvendelsen på den grund der renses op UNDER AFVÆRGE. I hvor høj grad sker der afspærring, som hindrer færdsel på området grundet installationer, indhegning mv.	Vurdér graden af potentielle arbejds miljøpåvirkninger for arbejdere på lokaliteten under afværge. Der ses på den samlede potentielle arbejds miljørisici forbundet med etablering, drift og monitorering af afværganlæg.
B) Efter afværge Vurdér afværgeteknologiernes påvirkning af arealanvendelsen på den grund der renses op EFTER AFVÆRGE. Er der restriktioner for anvendelse af grunden fx nedsatte geotekniske egenskaber eller restriktioner på arealanvendelsen.	For teknikker med off-site behandling/og eller transport af jord inkluderes arbejds miljøpåvirkninger på lokalitet såvel som off-site
SKALA TIL VURDERINGER 1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning 2 - Lille negativ påvirkning 3 - Moderat negativ påvirkning 4 - Stor negativ påvirkning 5 - Meget stor negativ påvirkning	SKALA TIL VURDERINGER 1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning 2 - Lille negativ påvirkning 3 - Moderat negativ påvirkning 4 - Stor negativ påvirkning 5 - Meget stor negativ påvirkning

Boks 3. Skala til vurdering af underkriterierne Påvirkning af arealanvendelse og Arbejds miljø

Påvirkning af renommé: Vurdering på skala fra 1-5	Påvirkning af kulturmiljø: Vurdering på skala fra 1-5
Vurdér graden af afværgeløsningens positive påvirkning af lokalområdets renommé i forhold til den nuværende situation som følge af behandlingen.	Vurdér graden af negative påvirkninger overfor kulturmiljøet i området, herunder påvirkninger af kulturminder og landskabstyper.
SKALA TIL VURDERINGER	SKALA TIL VURDERINGER
1 - Meget stor positiv påvirkning	1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning
2 - Stor positiv påvirkning	2 - Lille negativ påvirkning
3 - Moderat positiv påvirkning	3 - Moderat negativ påvirkning
4 - Lille positiv påvirkning	4 - Stor negativ påvirkning
5 - Ingen nævneværdig positiv påvirkning	5 - Meget stor negativ påvirkning

Boks 4. Skala til vurdering af underkriterierne Påvirkning af renommé og Påvirkning af kulturmiljø

3.6 Ekspertpanel til vurdering af kvalitative scorer

Den udviklede metode til bæredygtighedsvurdering af afværge er udviklet som en generel metode, der skal kunne anvendes på alle typer af forurenede grunde. Som nævnt under de specifikke kriterier indgår der en række kriterier, som skal vurderes kvalitativt på en skala fra 1-5. For at give brugeren af værktøjet et udgangspunkt for tildelingen af kvalitative scorer, har et ekspertpanel bestående af 10 fagpersoner/grupper af fagpersoner udfyldt et spørgeskema, hvori en række af de oftest anvendte afværgemetoders påvirkning er vurderet for de relevante underkriterier (Tabel 6). Ekspertpanelets scorer fremgår af Appendiks A.

Tabel 6. Oversigt over underkriterier, som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for

Hovedkriterium	Underkriterium som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for	
	1. ordens underkriterier	2. ordens underkriterier
Økonomi	Teknisk usikkerhed	
Miljø	Jordkvalitet efter behandling:	(A) Biogeokemisk påvirkning (B) Påvirkning af terrestrisk miljø
Samfund	Påvirkning af arealanvendelse:	(A) Under afværge (B) Efter afværge
	Arbejdsmiljø	

4 Normalisering, vægtning og beregning af samlet bæredygtighedsscore

4.1 Normalisering af scorer

På baggrund af løsningsalternativernes præstation på de forskellige kriterier tildeles en normaliseret score fra 0-1, hvor 0 betegner den bedst mulige score dvs. hvor der ikke sker nogen påvirkning af det givne kriterium, og 1 gives til den dårligst mulige score. Det skal bemærkes, at den dårligst mulige score ikke behøver at være opnået af nogle af de afværgeløsninger, der sammenlignes. Hvis de fx alle har en relativt kort tidsramme (<10 år), kan der normaliseres til en varighed af 30 år, som vil betegne en mulig løsning med lang varighed. Ligeledes kan det være, at alle løsninger har relativt begrænsede scorer, fx i affald til deponering, hvis ingen af dem er en afgravningsløsning. I dette tilfælde giver det heller ikke mening, at løsningsalternativet med den højeste affaldsmængde opnår en normaliseret score på 1. I stedet bør der normaliseres i forhold til den mængde jord, der potentielt skulle deponeres i tilfælde af, at en afgravningsløsning blev valgt.

4.2 Vægtning af scorer og inddragelse af interessenter

Den relative vigtighed af kriterierne, der indgår i værktøjet udtrykkes ved en vægt, w_i , som beskrevet i Ligning 1. Der kan anvendes forskellige fremgangsmåder til at fastsætte disse vægte:

- Lige vægtning. Alle kriterier vægtes ens
- Vægtning udarbejdet af et interessentpanel, der repræsenterer alle grupperinger af interessenter for den specifikke lokalitet
- Politisk/administrativ vægtning udarbejdet af beslutningstagere

I denne forbindelse anbefales det at anvende et bredt sammensat interessentpanel, hvilket uddybes herunder. Alternativt, fx for mindre lokaliteter, kan det af ressourcemæssige årsager overvejes om det er muligt at inddrage et interessentpanel, eller om beslutningstageren (i dette tilfælde regionen) alene kan fastsætte en vægtning. Der er i afsnit 4.3 og 4.4 herunder beskrevet to vægtningsmetoder, som kan anvendes til at udarbejde vægte ved hjælp af et interessentpanel.

4.2.1 Inddragelse af interessenter

Interessenter kan ifølge Freeman (1984) defineres som personer eller organisationer, der enten *kan påvirke* en beslutning eller som *kan blive påvirket* af en given beslutning. Disse to grupper af interessenter refereres af og til som henholdsvis de aktive og de passive interessenter (Reed, 2008).

Reed et al. (2009) skelner mellem følgende typer af interessenter:

- *Key players*: Interessenter med stor interesse og stor indflydelse
- *Context setters*: Interessenter med stor indflydelse, men lille interesse
- *Subjects*: Interessenter med stor interesse og lav indflydelse
- *Crowd*: Interessenter med lille interesse og lille indflydelse

Baggrunden for at inddrage interessenter i en beslutningsproces, er at opnå bedre beslutninger og mere holdbare og bæredygtige løsninger. Beslutninger taget på baggrund af konsensus opnået i en bredere gruppe vil have større sandsynlighed for at blive implementeret succesfuldt end beslutninger taget af én beslutningstager (Phillips, 2007). Inddragelse af interessenter kan dermed føre til mere effektive og holdbare beslutninger (Reed, 2008), idet der er større sikkerhed for, at den valgte løsning har værdi for det omgivende samfund og møder opbakning.

Et interessentpanel bør være bredt sammensat, således at det dækker alle interesser på alle relevante niveauer (lokalt, regionalt, lokalt). Interessentgruppens sammensætning vil afhænge af typen af den specifikke sag og hvem der i forhold til den pågældende sag kan påvirke beslutningen eller blive påvirket af beslutningen. Et bredt sammensat gruppe af interessenter kan fx indeholde:

- Beslutningstagere og autoriteter på forskellige niveauer (lokale, regionale og nationale)
- Jordejere
- Beboere/naboer/brugere af området
- Natur og friluftsliv (repræsenteret af relevante organisationer. Disse kan både være lokale, regionale og nationale)
- Lokal industri og erhverv

De forskellige interesser skal være afstemt således, at der ikke sker overrepræsentation af visse grupper (Reed, 2008). Bredden af interessenter skal være repræsenteret, men samtidig må man også indse, at det ofte ikke er muligt at inddrage alle potentielle interessenter, men at der må laves en afgrænsning (Reed, 2008).

4.3 Simple vægtning

Ved den simple vægtning skal interessentpanelet, evt opdelt i mindre grupper afhængig af panelets størrelse, komme til enighed om en prioritering af kriterierne i forhold til vigtighed. Der er tale om en simpel rangering af hovedkriterierne fra 1-5, hvor 1 er vigtigst og 5 er mindst vigtig. Denne rangering omregnes derefter til et sæt af vægte baseret på Rank Order Distribution (Tabel 7). Metoden kan endvidere anvendes til at bestemme vægte for underkriterierne under Samfund og Miljø.

Tabel 7. Rank Order Distribution vægte (Roberts and Goodwin, 2002). Tabellen viser den opnåede vægt afhængig af antallet af kriterier og rangeringen af det enkelte kriterium

		Kriterier								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Rangering	1	0.6932	0.5232	0.4180	0.3471	0.2966	0.2590	0.2292	0.2058	0.1867
	2	0.3068	0.3240	0.2986	0.2686	0.2410	0.2174	0.1977	0.1808	0.1667
	3		0.1528	0.1912	0.1955	0.1884	0.1781	0.1672	0.1565	0.1466
	4			0.0922	0.1269	0.1387	0.1406	0.1375	0.1332	0.1271
	5				0.0619	0.0908	0.1038	0.1084	0.1095	0.1081
	6					0.0445	0.0679	0.0805	0.0867	0.0893
	7						0.0334	0.0531	0.0644	0.0709
	8							0.0263	0.0425	0.0527
	9								0.0211	0.0349
	10									0.0173

4.4 Detaljeret vægtning

Som alternativ til den simple vægtning kan der laves en mere detaljeret vægtning kaldet *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 1987). Her skal interessenterne foretage en parvis systematisk sammenligning af kriterierne og vurdere deres relative vigtighed på en skala fra 1 til 9, hvor 1 svarer til "ens vigtighed" og 9 betyder, at det ene kriterium er stærkt vigtigere end det andet. Denne vægtningsmetode giver mulighed for at lave en mere nuanceret vurdering af kriteriernes vigtighed, idet det er muligt at give kriterierne samme vigtighed, samt at uddybe forskelle i vigtighed. Vægtningen foretages i praksis ved at der udfyldes en N x N matrix, hvor N svarer til antallet af kriterier, der skal sammenlignes. Vurderingsskalaen anvendt i AHP samt omregningen til vægte er forklaret i Boks 5 herunder.

Som eksempel på anvendelsen af disse to vægtningsmetoder i praksis henvises der til Lemming og Bjerg (2013) samt Lemming et al. (2014), der beskriver hvorledes et interessentpanel blev anvendt til at udarbejde vægtninger til brug for bæredygtighedsvurderingen for Høfde 42.

For at sikre, at der er konsistens i den foretagne vurdering beregnes et såkaldt Consistency Ratio (CR), som beskriver graden af inkonsistens sammenlignet med en tilfældig svarafgivelse. Såfremt CR er under 0.1, er graden af inkonsistens tilfredsstillende. Se fx Coyle (2004) for beregning af CR.

Analytical hierarchy process (AHP)

Det ønskes at udvikle vægte vha. AHP for en lineær additiv model (Ligning 1), der indeholder de 3 kriterier C1, C2 og C3. Kriterierne stilles op i en 3x3 matrix og en parvis sammenligning af vigtigheden af dem foretages ved brug af følgende skala:

Hvor vigtig er C1 i forhold til C2?

- 1: Lige præference/lige vigtigt
- 3: Svag præference/svagt vigtigere
- 5: Moderat præference/moderat vigtigere
- 7: Stærk præference/stærkt vigtigere
- 9: Meget stærk præference/meget stærkt vigtigere

2, 4, 6 og 8 beskriver kompromisser mellem de ovennævnte

Udvikling af vægte

Matricen ufyldes ved at sammenligne to kriterier ad gangen. Bemærk at diagonalen altid vil bestå af 1-taller og at tallene under diagonalen (markeret med grå) kan beregnes direkte som den reciprokke værdi af tallene over diagonalen. Det geometriske gennemsnit (den n'te rod af tallene ganget sammen) beregnes for hver række. Vægten, w_i , for hvert kriterium findes ved at dividere det geometriske gennemsnit med summen af de 3 geometriske gennemsnit:

	C1	C2	C3	Geometrisk gen.snit:	w_i :
C1	1	5	9	$(1 \cdot 5 \cdot 9)^{1/3} = 3.5568$	0.751
C2	1/5	1	3	$(1/5 \cdot 1 \cdot 3)^{1/3} = 0.8435$	0.178
C3	1/9	1/3	1	$(1/9 \cdot 1/3 \cdot 1)^{1/3} = 0.3333$	0.070
Sum				4.7335	1.0

Boks 5. Eksempel på udvikling af vægte ved hjælp af Analytical Hierarchy Process (AHP)

4.5 Samlet bæredygtighedsscore

Den samlede bæredygtighedsscore beregnes ved hjælp af Ligning 1, dvs. de normaliserede scorer indenfor hvert kriterium ganges med vægten for det enkelte kriterium og derefter beregnes summen af de samlede vægtede scorer (se beregningseksempel i Boks 6). Det løsningsalternativ, der samlet set opnår den laveste score, vil være den, der vurderes at være mest bæredygtig. Som nævnt i indledningen er der tale om en relativ vurdering af bæredygtighed. Dvs. fremgangsmåden kan anvendes til at vurdere om et løsningsalternativ er mere bæredygtig end et andet. Den kan ikke anvendes til at vurdere om en given afværgeteknologi er bæredygtig i sig selv. Udover at give en samlet bæredygtighedsscore, viser resultatet af bæredygtighedsvurderingen også hvorledes det enkelte alternativ klarer sig indenfor det enkelte hovedkriterium jf. figuren i Boks 6. Dette giver en god basis for at sammenligne fordele og ulemper for de potentielle afværgeteknologier.

Samlet bæredygtighedsscore

I dette eksempel er der 3 hovedkriterier, C1, C2 og C3. Vha. en simpel vægtning er vigtigheden bestemt som $C2 > C1 > C3$. Dette medfører følgende vægte for kriterierne (jf. Tabel 7):

- C1: $w_1 = 0.3240$
- C2: $w_2 = 0.5232$
- C3: $w_3 = 0.1528$

To alternativer sammenlignes. De har opnået følgende normaliserede scorer for de 3 kriterier:

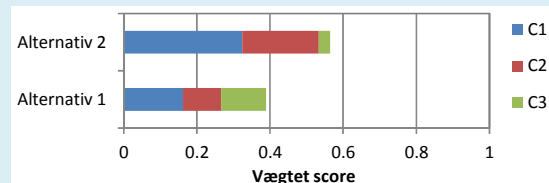
	Normaliseret score		
	C1	C2	C3
Alternativ 1	1	0.2	0.2
Alternativ 2	0.5	0.3	0.1

Beregning af vægtet score

De normaliserede scorer ganges med de tilhørende vægte og den samlede sum beregnes jf. Ligning 1:

	Vægtet score			
	C1	C2	C3	Sum
Alternativ 1	0.162	0.105	0.122	0.39
Alternativ 2	0.324	0.209	0.031	0.56

Alternativ 1 opnår den laveste samlede bæredygtighedsscore, og er dermed mere bæredygtig end alternativ 2. De opnåede scorer er illustreret på figuren herunder.



Boks 6. Eksempel på beregning af den samlede bæredygtighedsscore

4.5.1 Stærk og svag bæredygtighed

Det løsningsalternativ, som samlet set opnår den laveste bæredygtighedsscore, vil være det mest bæredygtige af de sammenlignede alternativer. Der kan i denne forbindelse skelnes mellem *stærk* og *svag* bæredygtighed (Rosen et al., 2009). Svag bæredygtighed er kendetegnet ved, at et løsningsalternativ kompenserer for dårlige scorere for visse kriterier ved klare sig godt på andre kriterier. Dermed kan alternativet, samlet set, stadig opnå den laveste bæredygtighedsscore på trods af, at det fx har højere miljøpåvirkninger end de resterende alternativer. Ved stærk bæredygtighed vil alternativet derimod klare sig relativt godt på alle kriterier, og det vil derfor være lettere at drage en entydig konklusion på bæredygtighedsvurderingen.

5 Konklusion

Den udviklede multikriteriemetode kan anvendes til at vurdere den relative bæredygtighed af to eller flere afværgealternativer. Bemærk, at metoden ikke kan anvendes til at vurdere, om en løsning er bæredygtig i absolut forstand, eller til at vurdere, om det er bæredygtigt overhovedet at afværge den pågældende grund. Metodens styrke ligger i, at den synliggør baggrunden for beslutningen om valg af afværgemetode, idet den ikke kun siger noget om den samlede bæredygtighed af en afværgeløsning i forhold til de andre alternativer, men også hvordan den klarer sig indenfor de enkelte hovedkriterier. Der er i dette notat lagt op til, at der foretages en vægtning af de indgående kriterier under deltagelse af et interessentpanel. Inddragelse af interessenter i en beslutningsproces fører til mere effektive og holdbare beslutninger, idet interessenterne på denne måde kan udtrykke hvilke løsninger, der vil tilføre værdi til det omgivende samfund. Resultatet af bæredygtighedsvurderingen giver et værdifuldt overblik over løsningsalternativernes fordele og ulemper og relative bæredygtighed, som kan anvendes i den efterfølgende administrative og politiske proces. I den sidste ende vil det dog være op til den/de endelige beslutningstagere, hvorledes de ønsker at anvende resultatet af vurderingen, idet der kan være andre forhold, fx økonomiske begrænsninger, der spiller ind i beslutningsprocessen, og som giver anledning til en anden vægtning af kriterierne.

5 Referencer

- Coyle, G. 2004. The Analytical Hierachy Process (AHP). Open Access Material. Retrieved 14-10-2011 from http://www.booksites.net/download/coyle/student_files/AHP_Technique.pdf. Pearson Education Limited 2004
- Finansministeriet (2013). Ny og lavere samfundsøkonomisk diskonteringsrate. Faktaark. Finansministeriet, 31. Maj 2013.
- Freeman, R.E. (1984) Strategic Management: A Stakeholder Approach. Pitman Publishing, Boston.
- Lemming, G., Bjerg, P.L. (2013). Interessentworkshop om Høfde 42 afholdt 14. november 2013. Notat udarbejdet af Gitte Lemming og Poul L. Bjerg. DTU Miljø. December 2013.
- Lemming, G., Binning, P.J., Bjerg, P.L (2011). Bæredygtighed af afværgemetoder. Notat 1. Litteraturstudium. DTU Miljø. December 2011.
- Lemming, G., Binning, P.J., Bjerg, P.L (2014). Bæredygtighedsvurdering af løsningsalternativer for kemikaliedepotet ved Høfde 42. Notat 3. DTU Miljø. Juli 2014.
- Miljøministeriet (2010). Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter. Januar 2010. Miljøministeriet.
- Phillips, L. (2007) Decision Conferencing. 375-399. In Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications, Cambridge University Press, 2007.
- Reed, M.S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. Biological Conservation 141, 2417-2431.
- Reed, M.S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C.H., Stringer, L.C. (2009). Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. Journal of Environmental Management 90, 1933-1949.
- Roberts R. & Goodwin P. (2002). Weight approximations in multi-attribute decision models. Journal of Multicriteria Decision Analysis. 11(6), 291-303.
- Rosén, L., Back, P.-E., Söderqvist, T., Soutukorva, Å., Brodd, P. og Grahn, L. (2009). Multikriterieanalys (MKA) för hållbar efterbehandling av förorenade områden. Metodutveckling och exempel på tillämpning. Naturvårdsverket. Rapport 5891. Februari 2009.
- Saaty, R.W. 1987. The analytic hierarchy process– what it is and how it is used. Mathematical Modelling 9, 161-176.
- Weber, K., Wodschow, N., and Lemming, G. 2010. RemS. Beslutningsstøtteværktøj for valg af afværgestrategi overfor jord- og grundvandsforureninger. Remediation Strategy for Soil and Groundwater Pollution - RemS. Udarbejdet for Region Hovedstaden, Videncenter for Jordforurening og Miljøstyrelsen. Version 1.8. Juni 2010.

APPENDIKSER

Appendiks A – Ekspertpanelets vurderinger

Et ekspertpanel bestående af 9 enkeltpersoner samt en gruppe har taget foretaget en generel vurdering af påvirkningen fra en række gængse afværgeteknikker i forhold til en række kriterier, som vurderes kvalitativt i værktøjet (se tabel A1). De vurderede afværgeteknikker fremgår af tabel A2.

Hovedkriterium	Underkriterium som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for	
	2. ordens underkriterier	3. ordens underkriterier
Økonomi	Teknisk usikkerhed	
Miljø	Jordkvalitet efter behandling:	(A) Biogeokemisk påvirkning (B) Påvirkning af terrestrisk miljø
Samfund	Påvirkning af arealanvendelse	(A) Under afværge (B) Efter afværge
	Arbejdsmiljø	

Tabel A1. Oversigt over kriterier som ekspertpanel har lavet vurdering for

Liste af afværgemetoder som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for
Fysiske metoder
Oppumpning og on-site behandling i aktivt kulfilter (Pump and treat)
Indeslutning (fx med stålspons eller slurrywall)
Termisk oprensning (damp, ledningsevne, modstandsoptæmning, radiobølger)
Afgravning og off-site behandling (mileudlægning)
Vakuumentilation (soil vapor extraction) eller 2-fase ekstraktion (dual phase extraction)
Kemiske metoder
In situ basisk hydrolyse ved tilsætning af natriumhydroxid og on-site eller off-site vandrensning
In situ kemisk oxidation (generel vurdering)
<i>Diverse typer af kemisk oxidation:</i>
In situ kemisk oxidation (Permanganat)
In situ kemisk oxidation (Persulfat)
In situ kemisk oxidation (Fenton's)
In situ kemisk oxidation (Ozon)
In situ kemisk oxidation (S-ISCO: Surfactant + persulfat + hydrogenperoxid + katalysator tilsættes)
Forceret udvaskning med overfladeaktive stoffer (Surfactant flushing)
Soil mixing med nulvalent jern
Permeabel reaktiv væg med nulvalent jern
Biologiske metoder
Stimuleret biologisk nedbrydning (bioaugmentation og evt. substrat- og næringsstofftilsætning)
Moniteret naturlig nedbrydning
Phytooprensning

Tabel A2. Afværgeteknologier inkluderet i ekspertpanelts generelle vurderinger

Ekspertpanelet består af repræsentanter fra rådgivende ingeniørfirmaer, regionsmedarbejdere og entreprenører (se Tabel A3). Såfremt der var teknikker som personen/gruppen ikke havde baggrund for at vurdere, blev de bedt om at undlade at besvare spørgeskemaet for de pågældende teknikker. For kemisk oxidation var det muligt at lave en generel vurdering af denne teknik og såfremt man havde større erfaring med denne afværgeteknik, kunne man vælge at lave en vurdering for 5 specifikke typer kemisk oxidation (forskellige oxidationsmidler), hvilket cirka halvdelen af respondenterne gjorde.

Oversigt over respondenter i spørgeskemaundersøgelsen

Mads Terkelsen, Region Hovedstaden

Thomas Larsen, Orbicon

Lars Bennedsen, Rambøll

Torben Jørgensen, Cowi

Maiken Faurbye, Krüger

Kim R. Jensen, Arkil

Loren Ramsey, Niras

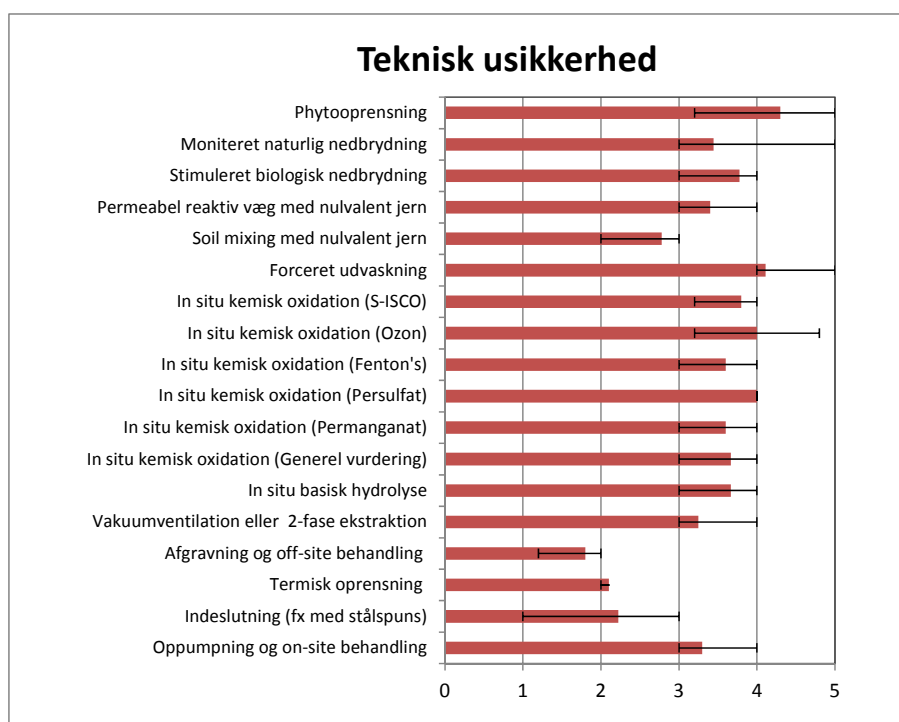
Mette Christophersen, Rambøll

Per Loll, DMR

Region Syddanmark – afværgeteamet

*Tabel A2. Ekspertpanelets sammensætning***A1. Ekspertpanelets vurdering af teknisk usikkerhed (Hovedkriterium Økonomi)**

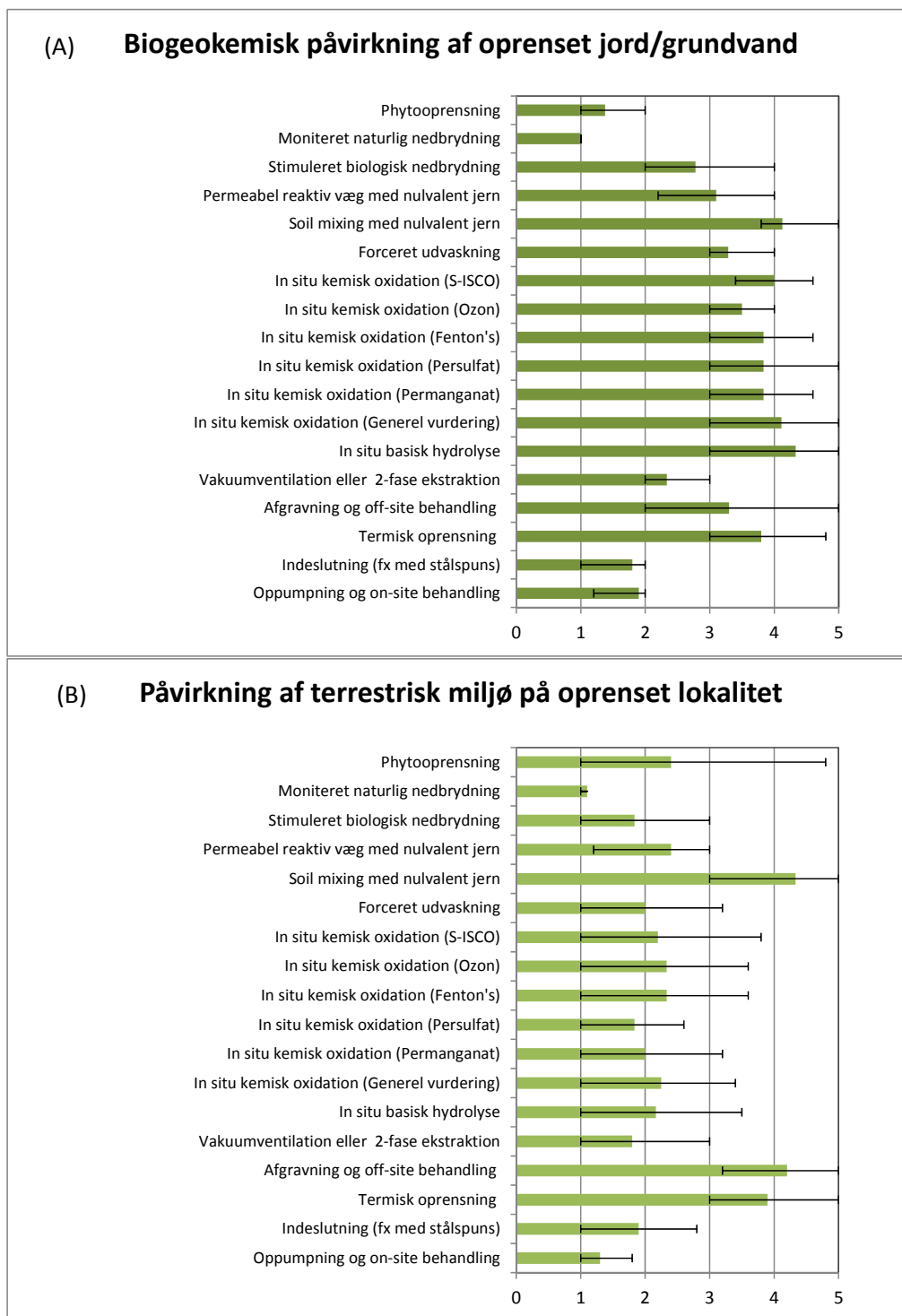
Kriteriet er vurderet på en skala fra 1-5, hvor 1 betegner "ingen nævneværdig usikkerhed" og 5 betegner "meget stor usikkerhed" jf. Boks 1. Resultatet ses af figur A1, der angiver middelværdien samt 20- og 80-percentilen af besvarelsene.



Figur A1. Ekspertpanelets gennemsnitlige vurdering af teknikernes tekniske usikkerhed på en skala fra 1-5 samt markering af 20- og 80-percentilen for de 10 besvarelsene.

A2. Ekspertpanelets vurdering af jordkvalitet efter behandling (Hovedkriterium Miljø)

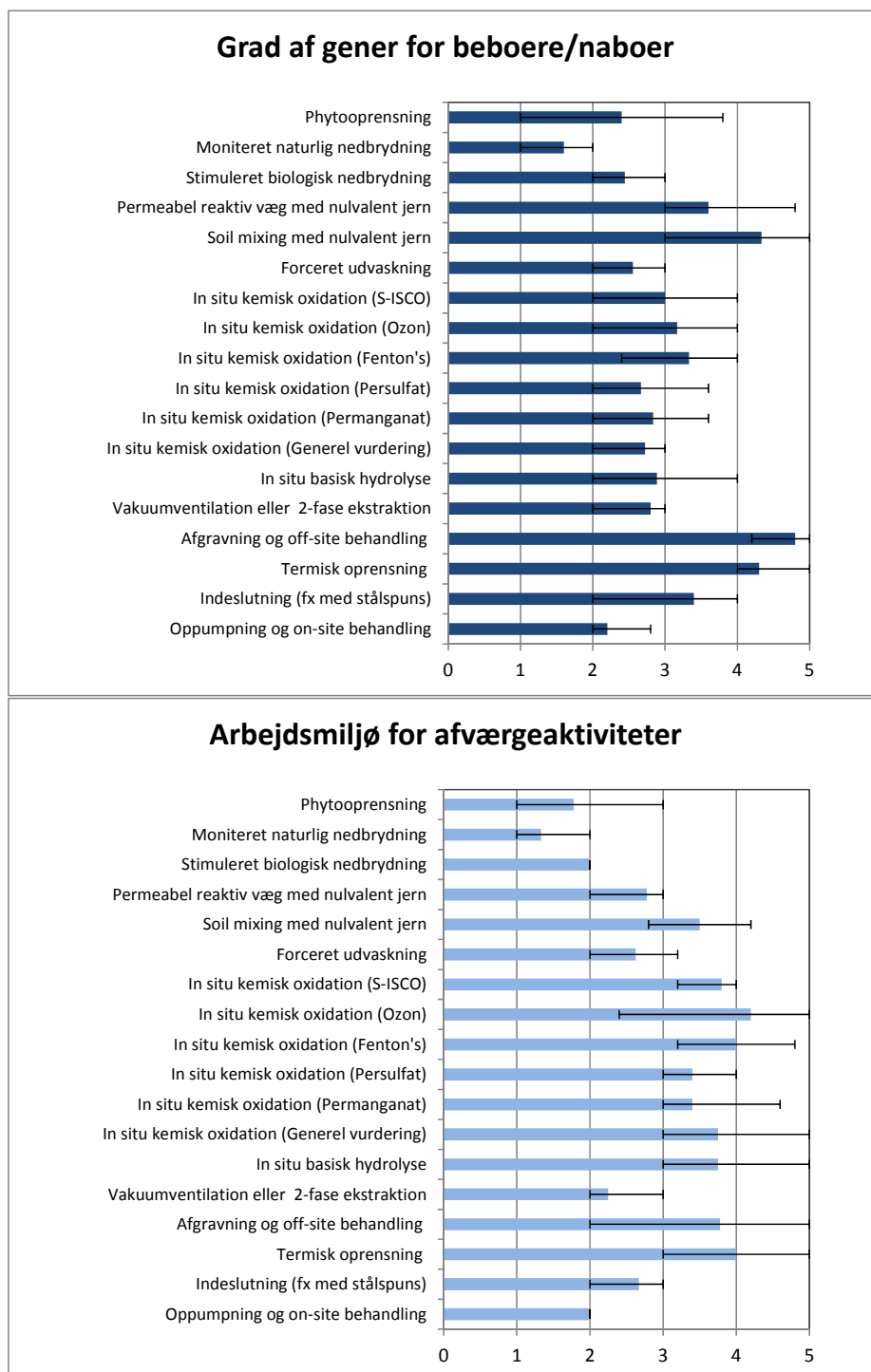
De to underkriterier under jordkvalitet efter behandling (biogeokemisk påvirkning af oprenset jord/grundvand og påvirkning af terrestrisk miljø) er besvaret hver for sig. Kriterierne er vurderet på en skala fra 1-5, hvor 1 betegner "ingen nævneværdig negativ påvirkning" og 5 betegner "meget stor negativ påvirkning" jf. Boks 1. Resultatet ses af figur A2, der angiver middelværdien samt 20- og 80-percentilerne for besvarelsene.



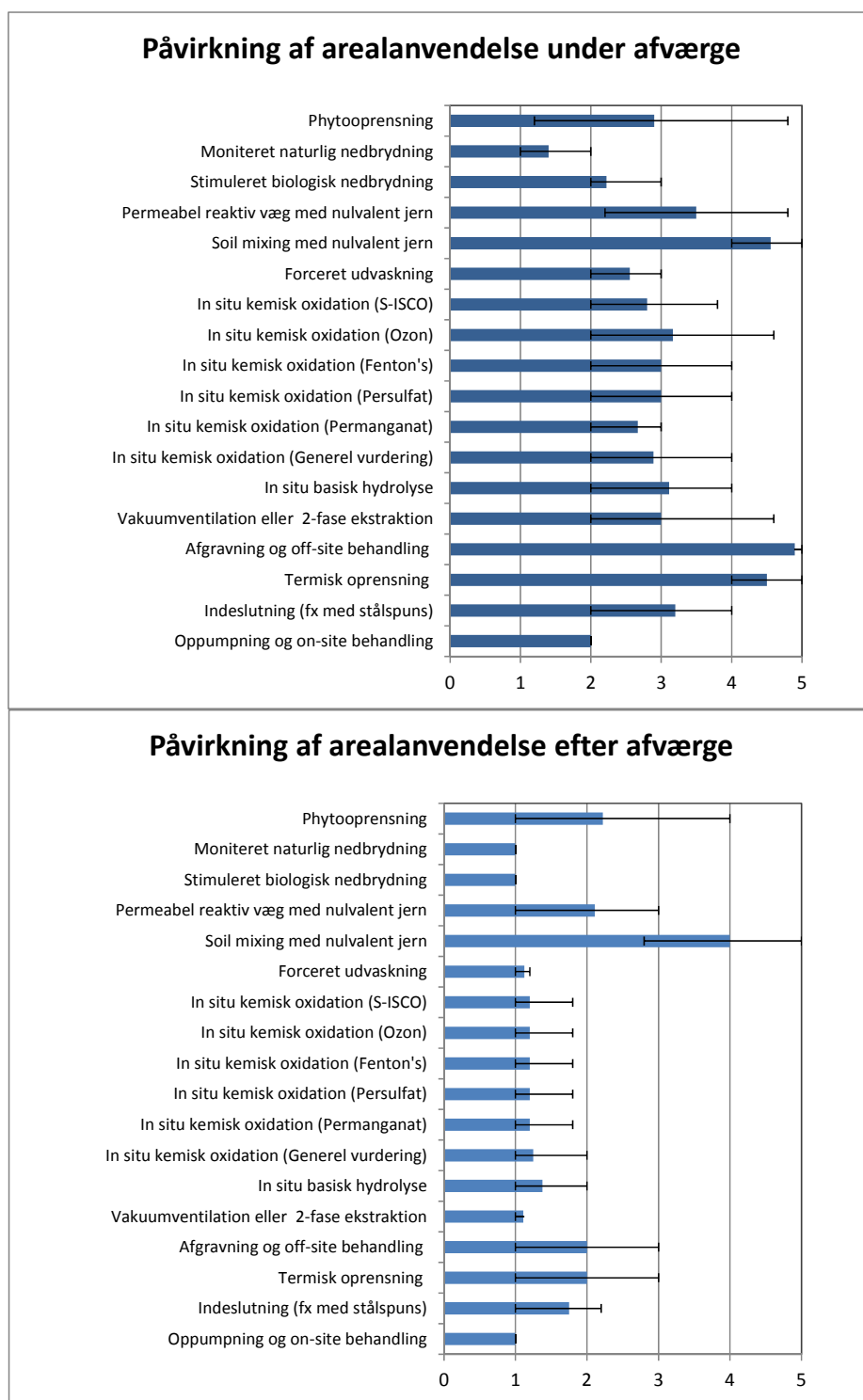
Figur A2. Ekspertpanelets gennemsnitlige vurdering af teknikernes biogeokemiske påvirkning (A) og påvirkningen af det terrestriske miljø (B) på en skala fra 1-5 samt markering af 20- og 80-percentilen for besvarelserne.

A3. Ekspertpanelets vurdering af grad af gener for beboere/naboer, påvirkning af arealanvendelse under og efter afværge og arbejdsmiljø for afværgeaktiviteter (Hovedkriterium Samfund)

De fire underkriterier under Samfund (grad af gener for beboere/naboer, påvirkning af arealanvendelse under og efter afværge og arbejdsmiljø for afværgeaktiviteter) er besvaret hver for sig. Kriterierne er vurderet på en skala fra 1-5, hvor 1 betegner "ingen nævneværdig negativ påvirkning" og 5 betegner "meget stor negativ påvirkning" jf. Boks 3 og 4. Resultatet ses af figur A3 og A4 herunder.



Figur A3. Ekspertpanelets gennemsnitlige vurdering af teknikernes grad af gener for beboere/naboer (A) og påvirkningen af arbejdsmiljøet (B) på en skala fra 1-5 samt markering af 20- og 80-percentilen for besvarelserne.



Figur A3. Ekspertpanelets gennemsnitlige vurdering af teknikernes påvirkning af arealanvendelsen under afværge (A) og efter afværge (B) på en skala fra 1-5 samt markering af 20- og 80-percentilen for besvarelserne.